



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 10 624 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 02 B 6/42**  
H 04 B 10/04  
H 01 L 31/0232  
H 01 S 3/025

②1 Aktenzeichen: 198 10 624.6  
②2 Anmeldetag: 12. 3. 98  
④3 Offenlegungstag: 16. 9. 99

DE 198 10 624 A 1

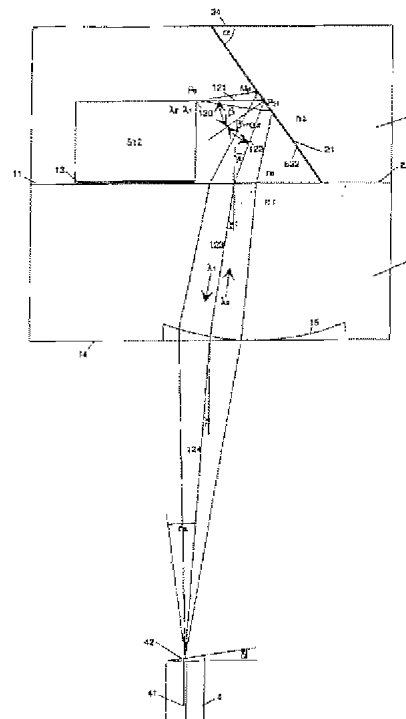
⑦1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Hauer, Heiner, 70734 Fellbach, DE; Kuke, Albrecht,  
Dr., 71549 Auenwald, DE; Moess, Eberhard, 71540  
Murrhardt, DE; Schwaderer, Bernhard, Dr., 71554  
Weissach, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Elektrooptisches Modul

- ⑤7 Elektrooptisches Modul mit
- transparentem Substrat (1),
  - Sendelaser (512) in einem ersten Vorraum, der einer Breitseite (11) vorgelagert ist,
  - einer Linse (15) zur Strahlformung für die Einkopplung in eine Einkopplungsfläche (42) im Vorraum der anderen Breitseite (14),
  - Die Breitseite (11) hat eine kristallographische {100}-Orientierung,
  - im ersten Vorraum ist eine die Sendestrahlung reflektierende und auf die erste Breitseite (11) werfende Fläche (21) angeordnet,
  - diese hat eine kristallographische {111}-Orientierung,
  - im Vorraum der zweiten Breitseite (14) ist der Einkopplungsfläche (42) eine Aufnahmevorrichtung (300, 310) für einen Halter (400) eines optischen Wellenleiters (4) zugeordnet,
  - die Linse (15) ist lateral so lokalisiert, daß die Richtung des Mittenstrahls (123, 124) der Sendestrahlung im Vorraum der zweiten Breitseite (14) weniger von dem Lot auf der zweiten Breitseite (14) abweicht als innerhalb des Substrats (1).
- Abwändigungsmöglichkeit durch eine Fläche (21), die für Empfangsstrahlung abweichender Wellenlänge durchlässig ist.
- Anwendung bei der Leadframe-Technik.



DE 198 10 624 A 1

5 Die Erfindung geht von der Gattung aus, wie im unabhängigen Anspruch 1 angegeben.

Ein solches Modul ist aus der deutschen Patentschrift DE 195 27 026 C2 bekannt.

Die Erfindung befaßt sich mit einem Modul, insbesondere mit einem optischen Transceiver, der zum Einbau in ein Receptacle für Leadframe-Montagetechnik geeignet ist. In der deutschen Patentanmeldung 197 55 806.2 wurde ein Receptacle für Leadframe-Montagetechnik vorgeschlagen.

10 Für die Montage in einem Receptacle wird üblicherweise als Sendebauelement eine kantenemittierende Halbleiterlaserdioden mit integrierter Strahltransformation bevorzugt. Solche Halbleiterlaserdioden haben in Lichtausbreitungsrichtung nach dem aktiven Laserkanal auf dem gleichen Chip einen passiven Transformationswellenleiter, der den Modenfelddurchmesser des Lasers von ca. 1 µm auf ca. 4,5 µm vergrößert und somit eine bessere Anpassung an den Modenfelddurchmesser einer Einmodenfaser von 10 µm ermöglicht. Gleichzeitig wird bei dieser Strahltransformation der Abstrahlwinkel von ca. 30° auf etwa 12° reduziert. Solche nach dem Stand der Technik bekannten Laserdioden mit Strahltransformation (engl.: SSC-Laser = Spot Size Converted Laserdioden) werden üblicherweise für die Direktankopplung einer Einmodenfaser verwendet. Der Laser strahlt dabei in eine an seiner Stirnseite in geringem Abstand angeordnete Faser ein (Stirnflächenkopplung). Die Faserachse muß dazu in der Montageebene (Emissionsrichtung) des Lasers verlaufen. Dabei kann der Laser durch Rückreflexionen an der Faserstirnfläche in seiner Abstrahlcharakteristik gestört werden.

20 Bei der Verwendung des Lasers in einem Receptacle mit Leadframe-Montagetechnik verläuft die Achse der Steckbuchse und damit der optischen Faser senkrecht zur Emissionsrichtung (Montageebene) des Lasers, daher ist hier die oben beschriebene Stirnflächenkopplung nicht möglich. Bei einem Transceiver, der zusätzlich zu einem Sendeelement (z. B. Sendelaser) noch ein Empfangselement (z. B. Fotodiode) aufweist, läßt sich außerdem bei einer Direktankopplung der Faser an den Laser wegen des erforderlichen geringen Abstandes zwischen den Stirnflächen von Laser und Faser kein strahlteilendes Element zur Trennung der Send- von der Empfangsstrahlung unterbringen.

#### Vorteile der Erfindung

Der Anmeldungsgegenstand mit den Merkmalen des Anspruches 1 hat folgenden Vorteil:

30 Das Modul ist für den Einbau in ein Receptacle geeignet und im Großnutzen kostengünstig herstellbar. Es kann als Sendemodul oder Transceiver ausgebildet sein.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben, deren Merkmale auch, soweit sinnvoll, miteinander kombiniert werden können.

40 Während bei dem Modul für Leadframe-Montagetechnik nach der deutschen Patentanmeldung 197 55 806.2 für die Sende- und für die Empfangsrichtung zwei getrennte optische Wellenleiter und somit zwei Steckbuchsen und je ein getrenntes Sende- und Empfangsteil vorgesehen sind, ist ein Transceiver-Modul nach einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung für nur einen optischen Wellenleiter für die Sende- und Empfangsrichtung vorgesehen. Dabei werden für die Sende- und die Empfangssignale zwei unterschiedliche Wellenlängen verwendet. Zur Richtungsstrennung zwischen Sende- und Empfangspfad dient ein wellenlängenselektives Filter.

#### Zeichnung

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und im Folgenden näher erläutert. Dabei sind bei mehreren Figuren jeweils dieselben Bezugszeichen für im wesentlichen gleiche Teile verwendet. Schematisch ist jeweils im Schnitt gezeigt in

Fig. 1 ein Transceiver-Modul nach der Erfindung, mit Strahlengang,

Fig. 2 ein Transceiver-Modul, das auf einer Seite eines Leadframe montiert ist,

Fig. 3 ein Transceiver-Modul mit integriertem Transceiver-Chip als Sendeelement.

#### Beschreibung des Ausführungsbeispiels

50 Fig. 1 zeigt den Aufbau und den Strahlengang für ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Transceiver-Moduls. Ein erstes Siliziumsubstrat 1 mit planparallelen Breitseiten 11, 14 trägt auf einer ersten Breitseite 11 als Sendebauelement 12 einen Sendelaser, der mit Hilfe einer Montageschicht 13 befestigt ist. Das aus der Lichtaustrittsfläche 120 auf der Stirnfläche des Sendelasers 12 austretende Strahlenbündel mit dem Mittenstrahl 121 bei der Sendewellenlänge  $\lambda_1$  trifft auf eine geneigte Fläche 21. Bevorzugt wird diese Fläche durch einen anisotropen Ätzprozeß in einem zweiten Siliziumsubstrat 2 erzeugt. Die Strukturierung des zweiten Siliziumsubstrats 2 kann hierbei vorteilhafterweise durch Strukturierung eines Siliziumwafers im Vielfachnutzen gesehen. In der Fig. 1 ist nur ein Nutzen dargestellt. Die Fläche 21 ist mit einer dichroitischen Filterschicht 22 beschichtet, welche die Sendewellenlänge  $\lambda_1$  reflektiert und die Empfangswellenlänge  $\lambda_2$  durchläßt. Durch den anisotropen Silizium-Ätzprozeß bedingt, weist die Fläche 21 eine kristallographische (111)-Orientierung auf und ist gegenüber der (100)-orientierten Montagefläche 23 des Siliziumsubstrates 2 unter einem Böschungswinkel von

$$\alpha = \arctan(\sqrt{2}) = 54,7^\circ$$

65 geneigt. Der Einfallswinkel des Mittenstrahls 121 im Strahlenbündel gegenüber der Flächennormalen der Fläche 21 ist

$$\beta = 90^\circ - \alpha = 35,3^\circ.$$

Der Mittenstrahl **122** des reflektierten Strahlenbündels hat gegenüber der Flächennormalen der ersten Breitseite **11** des ersten Siliziumsubstrates **1** einen Richtungswinkel von

$$\gamma_2 = 90^\circ - 2 \cdot \beta = 19,5^\circ.$$

Beim Eintritt in das Siliziumsubstrat **1** wird das Strahlenbündel zum Lot hingebrochen. Der Richtungswinkel  $\gamma_1$  des Strahlenbündels im Siliziumsubstrat **1** ist

$$\gamma_1 = \arcsin((n_0/n_1) \cdot \sin(\gamma_2)).$$

Dabei ist  $n_0$  der Brechungsindex im Raum zwischen der ersten Breitseite **11** des Substrats **1**, der Filterschicht **22** und der Lichtaustrittsfläche **120** ist. Dieser Raum kann in einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung (Fall 1) mit Luft oder in einem zweiten Ausführungsbeispiel (Fall 2) mit einem transparenten Kleber ausgefüllt sein. Für Luft ist  $n_0 = n_{0L} = 1$ . Für das zweite Ausführungsbeispiel wird in der nachfolgenden beispielhaften Berechnung für den transparenten Kleber ein Brechungsindex von  $n_{0K} = 1,5$  angenommen. Zur Vermeidung von fresnelschen Reflexionsverlusten wird die erste Breitseite **11** zumindest im Bereich des Strahleintritts mit einer Antireflexionsschicht belegt. Silizium hat bei einer Lichtwellenlänge von  $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$ , die in der Berechnung beispielhaft zugrunde gelegt wird, einen Brechungsindex von 3,4777. Mit diesen Werten erhält man für Luft im Raum oberhalb der Fläche **11**

$$\gamma_{1L} = 5,50^\circ \text{ Fall 1}$$

und für Kleber im Raum oberhalb der ersten Breitseite **11**

$$\gamma_{1K} = 8,27^\circ \text{ Fall 2.}$$

Auf der zweiten Breitseite **14** des Substrates **1** ist als strukturierter Oberflächenbereich zur Fokussierung des Sendestrahlenbündels eine Linse **15** vorgesehen. Vorteilhafterweise ist diese Linse, wie nach dem Stand der Technik bekannt, als integrierte Linse direkt auf dem Siliziumsubstrat **1** im Vielfachnutzen strukturiert. Die Oberfläche der Linse ist mit einer Antireflexionsschicht belegt. Diese Linse hat die Aufgabe, das aus dem Laser austretende divergierende Strahlenbündel in ein konvergierendes Strahlenbündel umzuwandeln und dabei die Lichtaustrittsfläche **120** auf eine Einkopplungsfläche innerhalb der Stirnfläche **42** eines optischen Lichtwellenleiters **4** (nämlich im Kern **41**) abzubilden. Zur Vermeidung von Rückreflexionen in den Laser muß zwischen der Normalen der Stirnfläche **42** und der Richtung des Mittenstrahls **124** des konvergierenden Strahlenbündels ein Winkel  $\alpha_4$  eingeschlossen sein, der größer ist als der Konvergenzwinkel zwischen dem Mittenstrahl und einem Randstrahl des konvergierenden Strahlenbündels. Nach dem Stand der Technik sind hierfür optische Stecker für Einmoden-Lichtleitfasern erhältlich, deren Stirnflächennormale gegenüber der Faserachse einen Winkel von typischerweise  $\delta = 8^\circ$  einschließt. Ein aus der Faser austretendes Lichtbündel wird dabei unter dem Winkel von

$$\alpha_4 = \arcsin(n_f \cdot \sin \delta) = 11,7^\circ$$

zur Flächennormalen gebrochen, wobei  $n_f = 1,46^\circ$  der Brechungsindex des Faserkerns ist. Der Winkel zwischen der Faserachse und dem Mittenstrahl eines austretenden Strahlenbündels ist dann

$$\epsilon = \alpha_4 - \delta = 3,7^\circ.$$

Um diesen Winkel muß auch ein einfallendes Strahlenbündel gegenüber der Faserachse geneigt eingekoppelt werden, um Einkoppelverluste infolge Winkeldejustierung zu vermeiden. Um eine kostengünstige Montage einer Steckbuchse in einem Receptacle zu ermöglichen, muß die Achse der Steckbuchse und damit auch eines eingesteckten Steckers senkrecht zur Montagefläche des Receptacles geführt sein. Daraus folgt, daß der Mittenstrahl **124** des konvergierenden Bündels einen Winkel von  $\epsilon = 3,7^\circ$  mit der Flächennormalen der zweiten Breitseite **14** des Siliziumsubstrates **1** einschließen muß. Würde das Strahlenbündel ohne die Linse **15** aus der ebenen Breitseite **14** austreten, so würde der Mittenstrahl vom Lot auf der Breitseite **14** weggebrochen. Im ersten Fall wäre dieser Winkel  $19,5^\circ$  und im zweiten Fall  $30^\circ$ . Diese Winkel wären gegenüber dem erforderlichen Winkel von  $\epsilon = 3,7^\circ$  viel zu groß. Setzt man jedoch die konvexe Linse **15** so, daß die Strahlrichtung des Mittenstrahls durch den Krümmungsmittelpunkt  $M_p$  der Linse verläuft, so durchdringt der Mittenstrahl die Linse ungebrochen und tritt im Fall 1 unter dem Winkel von  $5,50^\circ$  und im Fall 2 unter dem Winkel von  $8,27^\circ$  in die Faser ein. Dies ist immer noch eine beträchtliche Abweichung von dem Idealwinkel  $\epsilon = 3,7^\circ$ . Erfindungsgemäß läßt sich der Winkel  $\epsilon = 3,7^\circ$  dadurch erreichen, indem die Linse lateral versetzt wird. Der Betrag dieses Versatzes hängt vom Krümmungsradius der Linse ab. Über die Wahl des Krümmungsradius läßt sich das Vergrößerungsverhältnis für die Strahltransformation einstellen. Um einen optimalen Koppelwirkungsgrad zu erhalten, wird der aus dem Halbleiterlaser austretende Strahl, der näherungsweise als Gaußstrahl betrachtet werden kann, so transformiert, daß die Taille des transformierten Laserstrahls so groß ist, wie die Strahltaile einer in der Einmodenfaser geführten Lichtwelle. Im folgenden werden Ergebnisse von Berechnungen für typische Eingangsgrößen angegeben; darin bezeichnet LD (Laserdioden) das Sendeelement **12**.

## Eingangsgrößen

Wellenlänge	$\lambda$
	$= 1,55 \mu\text{m}$
5 Dicke des 1. Siliziumsubstrates	$d_1 = 525 \mu\text{m}$
Dicke des 2. Siliziumsubstrates	$d_2 = 525 \mu\text{m}$
Brechungsindex des Siliziums	$n_{\text{Si}} = 3,4777$
Dicke des Laserchips	$d_{\text{ch}} = 250 \mu\text{m}$
Dicke der Montageschicht für LD	$d_s = 25 \mu\text{m}$
10 Höhe der aktiven Zone über Substrat 1	$h_a = 275 \mu\text{m}$
Modenfeldradius des Lasers	$w_L = 2,25 \mu\text{m}$
Modenfeldradius der Faser	$w_F = 5 \mu\text{m}$
Schnittwinkel der Faserstirnfläche	$\delta = 8^\circ$
horizontaler Abstand LD – Filterfläche <b>22</b>	$s_{121} = 225 \mu\text{m}$
15 Fall 1: Brechungsindex oberhalb Fläche <b>11</b>	$n_{0L} = 1$
Fall 2: Brechungsindex oberhalb Fläche <b>11</b>	$n_{0K} = 1,5$

20 Mit diesen Eingangsgrößen ergibt die Berechnung für den Fall 1 folgende Ergebnisse für die Abbildung und den Strahlverlauf:

Krümmungsradius der Si-Linse	$R_K = 1100 \mu\text{m}$
Radius der Si-Linse	$R_L = 400 \mu\text{m}$
Tailenradius des transformierten Strahls	$w_{0Li} = 4,9 \mu\text{m}$
25 optischer Weg Laser – Linse (Gegenstandsweite)	$g = 649 \mu\text{m}$
optischer Weg Linse – Faser (Bildweite)	$b = 1404 \mu\text{m}$
Vergrößerung $M = b/g$	$M = 2,2$
Versatz Linsenkrümmungsmittelpunkt – Mittenstrahl	$\Delta X_K = 14 \mu\text{m}$
Versatz Linsenmitte – Stahlmitte	$\Delta X_L = 120 \mu\text{m}$
30 Strahlrichtung im Si-Substrat 1	$\gamma_{1L} = 5,50^\circ$
Strahlrichtung unter der Si-Linse $\gamma_4$	$= 3,7^\circ$
erforderliche Einstrahlrichtung in Faser	$\epsilon = 3,7^\circ$

35 Für den Fall 2 erhält man diese Ergebnisse:

Krümmungsradius der Si-Linse	$R_K = 825 \mu\text{m}$
Radius der Si-Linse	$R_L = 400 \mu\text{m}$
Tailenradius des transformierten Strahls	$w_{0Li} = 5,0 \mu\text{m}$
40 optischer Weg Laser – Linse (Gegenstandsweite)	$g = 482 \mu\text{m}$
optischer Weg Linse – Faser (Bildweite)	$b = 1072 \mu\text{m}$
Vergrößerung $M = b/g$	$M = 2,2$
Versatz Linsenkrümmungsmittelpunkt – Mittenstrahl	$\Delta X_K = 26,6 \mu\text{m}$
Versatz Linsenmitte – Stahlmitte	$\Delta X_L = 147 \mu\text{m}$
45 Strahlrichtung im Si-Substrat 1	$\gamma_{1K} = 8,27^\circ$
Strahlrichtung unter der Si-Linse $\gamma_4$	$= 3,7^\circ$
erforderliche Einstrahlrichtung in Faser	$\epsilon = 3,7^\circ$

50 Für die beiden Fälle mit Luft bzw. Kleber oberhalb der ersten Breitseite **11** des Substrates **1** läßt sich durch Wahl des Linsenkrümmungsradius  $R_K$  von  $1100 \mu\text{m}$  bzw.  $825 \mu\text{m}$  und des Linsenversatzes  $\Delta X_{Li}$  von  $120 \mu\text{m}$  bzw.  $147 \mu\text{m}$  die Tailengröße und die Strahlrichtung so anpassen, daß eine optimale Einkopplung in eine senkrecht zur Montageebene des Lasers ausgerichtete Einmodenfaser möglich ist.

Die Berechnung für die Ausbreitung der Strahlenbündel ist nach dem Reziprozitätsprinzip der Optik ebenso auch für  
 55 den umgekehrten Lichtweg gültig. Das heißt, daß ein aus der Faser austretender Empfangsstrahl bis zum Auftreffen auf die dichroitische Filterschicht **22** die gleiche Transformation und Strahlumlenkung erfährt wie der Sendestrahle. Die dichroitische Filterschicht **22** hat für den Empfangsstrahl wegen dessen anderer Wellenlänge ein sehr geringes Reflexionsvermögen und ein sehr hohes Transmissionsvermögen. Der Empfangsstrahl wird hier also nicht reflektiert, sondern er tritt in das Innere des Siliziumsubstrats **2** ein. Der Einfallswinkel  $\alpha_2$  des Mittenstrahls ist hier ebenso wie beim einfallenden Sendestrahle der Winkel  $\beta = 35,3^\circ$ . An der Fläche **21** wird der Empfangsstrahl zum Lot hingebrochen. Der Brechungswinkel hinter der Fläche **21** ist

$$\beta_2 = \arcsin((n_0/n_2) \cdot \sin(\alpha_2)).$$

65 Für den Fall 1 mit  $n_0 = n_{0L} = 1$  für Luft und  $n_2 = n_{\text{Si}} = 3,4777$  für Silizium als Substratmaterial für das Substrat **2** erhält man

$$\beta_{2L} = 9,56^\circ.$$

Der Richtungswinkel gegenüber der Flächennormalen der Oberseite **24** des Substrates **2** ist

$$\gamma_{24L} = \alpha - \beta_{2L} = 54,74^\circ - 9,56^\circ = 45,18^\circ.$$

5

Für den Fall 2 mit  $n_0 = n_{0K} = 1,5$  für Kleber und  $n_2 = n_{Si} = 3,4777$  für Silizium als Substratmaterial für das Substrat **2** erhält man

$$\beta_{2K} = 14,42^\circ.$$

10

Der Richtungswinkel gegenüber der Flächennormalen der Oberseite **24** des Substrates **2** ist

$$\gamma_{24L} = \alpha - \beta_{2L} = 54,74^\circ - 14,42^\circ = 40,32^\circ.$$

Der Grenzwinkel der Totalreflexion aus Silizium nach Luft ist

15

$$\beta_{grL} = \arcsin(1/n_{Si}) = 16,71^\circ.$$

Gegenüber einem transparenten Kleber mit  $n_K = 1,5$  ist der Grenzwinkel aus Silizium

20

$$\beta_{grK} = \arcsin(n_K/n_{Si}) = 25,55^\circ.$$

Ein Austritt aus der Seite **24** des Siliziumsubstrates ist für beide Fälle nicht möglich, auch wenn die Seite **24** gegen einen transparenten Kleber grenzen würde, da der Strahlrichtungswinkel gegenüber der Flächennormalen der Seite **24** für beide Fälle größer ist als der Grenzwinkel der Totalreflexion. Eine auf der Seite **24** angebrachte Fotodiode könnte daher kein Licht aus der Übertragungsfaser **4** empfangen.

25

Um das Empfangslicht trotzdem aus dem Siliziumsubstrat **2** auskoppeln und in eine planar auf der Seite **24** montierte Empfangsdiode **5** einkoppeln zu können, ist entsprechend einer Weiterbildung der Erfindung eine anisotrop geätzte Vertiefung **3** in der Seite **24** des Substrates **2** erzeugt. Das Empfangslichtbündel mit dem Mittenstrahl **131** trifft auf die Seitenfläche **31** der Vertiefung **3**. Da die beiden Flächen **21** und **31** wegen des gleichen anisotropen Ätzprozesses parallel zueinander sind, ist für die beiden Fälle mit Luft bzw. einem transparenten Kleber linksseitig der Fläche **21** der Einfallswinkel  $\beta_{3L}$  bzw.  $\beta_{3K}$  des Mittenstrahls **131** an der Begrenzungsfläche **31** so groß wie der Brechungswinkel  $\beta_{2L}$  bzw.  $\beta_{2K}$  rechtsseitig der Fläche **21**. In beiden Fällen ist der Einfallswinkel kleiner als der Grenzwinkel der Totalreflexion, so daß das Licht aus dem Siliziumsubstrat austreten kann. Um Verluste durch Fresnelreflexionen an der Grenzfläche **31** zu vermeiden, ist diese Fläche mit einer Antireflexionsschicht **32** belegt. Anstelle einer Antireflexionsschicht kann hier auch die gleiche Filterschicht wie in Schicht **22** verwendet werden. In diesem Fall können beide Seiten des Siliziumwafers **2** im gleichen Vakuumprozeß beschichtet werden.

30

35

Die Vertiefung **3** kann entweder mit Luft oder auch mit einem transparenten Kleber gefüllt sein. Je nach Brechungsindex in der Vertiefung **3** ergeben sich für die Brechungswinkel der beiden Fälle 1 und 2 folgende Kombinationen:

40

Fall 1a

Raum vor Fläche <b>21</b> :	Luft $n_{0L} = 1$
Raum hinter Fläche <b>31</b> :	Luft $n_{3L} = 1$
Richtungswinkel von Strahl <b>132</b>	$\gamma_{132} = 19,47^\circ$

45

Fall 1b

Raum vor Fläche <b>21</b> :	Luft $n_{0L} = 1$
Raum hinter Fläche <b>31</b> :	Kleber $n_{3K} = 1,5$
Richtungswinkel von Strahl <b>132</b>	$\gamma_{132} = 32,10^\circ$

50

Fall 2a

Raum vor Fläche <b>21</b> :	Kleber $n_{0K} = 1,5$
Raum hinter Fläche <b>31</b> :	Luft $n_{3L} = 1$
Richtungswinkel von Strahl <b>132</b>	$\gamma_{132} = 5,26^\circ$

55

Fall 2b

Raum vor Fläche <b>21</b> :	Kleber $n_{0K} = 1,5$
Raum hinter Fläche <b>31</b> :	Kleber $n_{3K} = 1,5$
Richtungswinkel von Strahl <b>132</b>	$\gamma_{132} = 19,47^\circ$

60

Auf der Seite **24** des zweiten Siliziumsubstrates **2** wird die als Empfangselement dienende Empfangsdiode **5** so montiert, daß ihre lichtempfindliche Fläche über der Öffnung **33** der Vertiefung **3** liegt. Dabei kann entweder eine Fotodiode mit der aktiven Fläche auf der Oberseite, wie in Fig. 1 gezeigt, oder eine Fotodiode mit der aktiven Fläche auf der Unterseite eingesetzt werden. Die laterale Position der Fotodiode kann anhand der oben angegebenen Richtungswinkel und der Position der Vertiefung **3** bezüglich der Fläche **21** vorherbestimmt und durch Marken oder Raststrukturen auf der Seite **24** des Siliziumsubstrates **2** gekennzeichnet werden, so daß eine passive Justierung dieser Empfangsdiode möglich ist.

65

Die optischen Weglängen (= geometrische Weglänge geteilt durch den Brechungsindex des jeweils durchlaufenen Materials) zwischen dem Lichtaustrittspunkt  $P_0$  an der Laserstirnfläche und dem Auftreffpunkt  $P_{21}$  des Sendestrahls **121** auf der Fläche **21** einerseits und des Empfangslichtstrahls zwischen dem Punkt  $P_{21}$  und dem Lichtauftreffpunkt  $P_5$  auf der Empfangsdiode **5** andererseits lassen sich durch eine geeignete Positionierung der Vertiefung **3** bezüglich der Fläche **21** einander angleichen. Dadurch kann erreicht werden, daß im Punkt  $P_5$  die Strahlteile des transformierten Empfangs-

strahls zu liegen kommt, die als Abbildung der Strahlteile auf der Faserstirnfläche **42** durch die Linse **15** entsteht. Die transformierte Empfangsstrahlteile im Punkt  $P_5$  hat dann den gleichen Durchmesser wie die Strahlteile des Laserstrahls an der Lichtaustrittsfläche im Punkt  $P_0$  des Lasers. In dem angegebenen Beispiel sind dies  $4,5\text{ }\mu\text{m}$ . Damit lassen sich auch kleinflächige Fotodioden, die für höchste Frequenzbereiche erforderlich sind (Durchmesser der aktiven Zone typisch  $30\text{ }\mu\text{m}$ ) noch mit ausreichendem Justagespielraum ankoppeln.

Für das erfindungsgemäße Modul ist eine kostengünstige Herstellung der Siliziumsubstrate **1** und **2** möglich, da sie im Großnutzen auf Waferebene strukturiert und beschichtet werden können. Die Montage der optoelektronischen Wandlerelemente kann ebenfalls kostengünstig auf Waferebene erfolgen. Auch die gegenseitige Ausrichtung des oberen und unteren Siliziumsubstrates kann vorteilhafterweise auf Waferebene geschehen. Dabei werden mit einem einzigen Justagevorgang alle Teilsuhstrate beider Wafer gleichzeitig zueinander ausgerichtet. Diese Ausrichtung kann auch justagefrei erfolgen, wenn auf dem Wafer an mindestens zwei Stellen zueinander korrespondierende Raststrukturen gemeinsam mit der anisotropen Ätzung der übrigen Strukturen hergestellt werden. Diese Raststrukturen können beispielsweise pyramidenförmige Vertiefungen sein, in welche Präzisionskugeln eingelegt werden. Die gegenseitige Fixierung der beiden Wafer kann durch Kleben, Lötten oder ein anderes bekanntes Befestigungsverfahren geschehen. Nach der Fixierung werden die Wafer einzeln und die einzelnen Modulbausteine auf den Leadframes montiert.

**Fig. 2** zeigt ein erfindungsgemäßes Transceiver-Modul, das auf einer Seite **201** eines Leadframe **200** montiert ist. Auf der anderen Seite **202** des Leadframe **200** ist eine Steckbuchse **300** mit ihrer Flanschfläche **301** aktiv justiert und über Laserschweißpunkte **203** fixiert. In diese Steckbuchse ist eine Ferrule **400** mit der Übertragungsfaser **4** eingeführt. Diese Faser hat eine schräg geschnittene Stirnfläche (der Schnittwinkel in diesem Ausführungsbeispiel ist  $8^\circ$ ), in die der transformierte Laserstrahl **124** eingekoppelt wird. Der axiale Abstand wird dabei durch den Anschlagring **310** so voreingestellt, daß zwischen der Linse **15** auf der Unterseite **14** des Siliziumsubstrates **1** und der Taille des transformierten Laserstrahls **124** gerade die oben berechnete Bildweite  $b$  liegt. Die laterale Position der Faser bezüglich der Strahlteile des transformierten Laserstrahls wird durch aktive Justage der Flanschfläche **301** auf der Unterseite **202** des Leadframes **200** eingestellt und durch Laserschweißpunkte **203** fixiert.

Das aus der Rückseite des Laserchips austretende Lichtsignal kann, wie nach dem Stand der Technik üblich, zur Leistungsregelung verwendet werden. Der erfindungsgemäße Aufbau bietet hierzu eine vorteilhafte Lösung zur Strahlumlenkung auf eine planar montierte Monitordiode **60**. Diese Monitordiode wird erfindungsgemäß in einer Vertiefung **16** im Siliziumsubstrat **1** montiert. Das obere Siliziumsubstrat **2** erhält eine weitere anisotrop geätzte Fläche **61**, die der Fläche **21** gegenüberliegt. Beide Flächen **21** und **61** sind dabei die Seitenflächen einer anisotrop geätzten Öffnung **20** im oberen Siliziumsubstrat **2**. Die Strahlumlenkung des rückwärtig austretenden Laserstrahls geschieht durch Reflexion an der Fläche **61**, die hierzu mit einer die Laserwellenlänge reflektierenden Schicht **62** belegt ist. Vorteilhafterweise kann diese Schicht **62** den gleichen Aufbau haben, wie die dichroitische Schicht **22** auf der Fläche **21** und mit dieser gemeinsam ohne wesentlichen Mehraufwand hergestellt werden. Zur elektrischen und mechanischen Kontaktierung der Unterseite der Monitordiode **60** wird der Boden und mindestens eine der Seitenflächen der Vertiefung **16** mit einer Goldschicht **17** belegt. Die übrige elektrische Kontaktierung des Empfangs- und Sendezweigs des Transceiver-Moduls geschieht über Bonddrähte zu den entsprechenden Kontaktbereichen des Leadframes (hier nicht gezeichnet). Zum Schutz vor Umwelteinflüssen können die aktiven Bauelemente des Transceivers und die Bonddrähte mit einem optisch transparenten Schutzvergüß (engl. glob top) **70** umhüllt sein. Das Gesamtmodul kann dann noch mit einer harten Umhüllung (hier nicht gezeichnet) umgeben werden.

#### Abwandlungsmöglichkeiten

Anstelle des Laserchips **12** kann auch ein integrierter Transceiverchip **512** (**Fig. 3**) eingesetzt werden. Ein solcher Transceiverchip enthält auf einem Chip integrierten einen Sendeteil, der die Wellenlänge  $\lambda_1$  aussendet und einen Empfangsteil, der die Empfangswellenlänge  $\lambda_2$  empfängt. Das Sende- und das Empfangslicht werden über denselben Ein- und Ausgangswellenleiter auf dem Chip geführt und haben denselben Lichtein- und -austrittsfleck, der an der Stelle  $P_0$  liegt. Dieser gemeinsame Ein- und Ausgangswellenleiter kann, wie zuvor beschrieben, als Transformationswellenleiter zur Vergrößerung des Modenfelddurchmessers ausgebildet sein. Die Strahlengänge für die Sende- und die Empfangsrichtung sind dann so, wie zuvor für die Senderichtung beschrieben wurde. Die dichroitische Filterschicht **22** wird nun durch eine Reflexionsschicht **522** für beide Wellenlängen ersetzt. Die Trennung der Wellenlängen geschieht auf dem integrierten Transceiverchip durch einen dort integrierten wellenlängenselektiven Koppler. Zusätzlich kann der Transceiverchip auch eine integrierte Monitordiode enthalten, so daß die Monitordiode **60** nach **Fig. 2** in der Vertiefung **16** mit der zur Strahlumlenkung vorgesehenen Fläche **61** entfallen kann.

Ebenso ist es möglich, die erfindungsgemäße Anordnung ganz ohne Empfangsteil, also ohne die Fotodiode **5** und ohne die Vertiefung **3** nur mit dem Laserchip **12** als reines Sendemodul zu verwenden.

#### Patentansprüche

1. Elektrooptisches Modul
  - mit einem optisch durchlässigen, plattenförmigen Substrat (**1**) mit zwei planparallelen Breitseiten (**11**, **14**),
  - mit einem optischen Sendeelement (**12**, **512**), das zur Erzeugung von Sendestrahlung dient und das in einem ersten Vorraum vorgesehen ist, der der ersten Breitseite (**11**) vorgelagert ist,
  - mit Mitteln zur Strahlformung für die Einkopplung in eine Einkopplungsfläche, die sich im Vorraum der

- zweiten Breitseite (14) befindet, wobei die zweite Breitseite (14) einen strukturierten Oberflächenbereich aufweist, der als Mittel zur Fokussierung der im Betrieb durch das Substrat (1) geworfenen Sendestrahlung auf die Einkopplungsfläche dient,
- mit folgenden Merkmalen:
    - die erste Breitseite (11) weist eine kristallographische (100)-Orientierung auf,
    - im ersten Vorraum ist eine die Sendestrahlung im Betrieb reflektierende und auf die erste Breitseite (11) werfende Fläche (21) angeordnet,
    - die ebene Fläche (21) hat eine kristallographische (111)-Orientierung gegenüber der kristallographischen (100)-Orientierung der ersten Breitseite (11),
    - im Vorraum der zweiten Breitseite (14) ist der Einkopplungsfläche eine Aufnahmevorrichtung (300, 310) für einen Halter (400) eines optischen Wellenleiters (4) mit Stirnfläche (42) zugeordnet,
    - der strukturierte Oberflächenbereich ist so lokalisiert, daß im Betrieb die Richtung des Mittenstrahls (123, 124) der Sendestrahlung im Vorraum der zweiten Breitseite (14) weniger von dem Lot auf der zweiten Breitseite (14) abweicht als innerhalb des Substrats (1).
2. Modul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Emissionsrichtung des Sendeelements (12, 512) parallel zur ersten Breitseite (11) verläuft.
  3. Modul nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der strukturierte Oberflächenbereich als konvexe Linse (15) gestaltet ist.
  4. Modul nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß, der Krümmungsradius der Linse (15) so gewählt ist, daß der aus dem Sendeelement (12, 512) austretende Sendestrahl so transformiert wird, daß die Taille des transformierten Sendestrahls so groß ist wie die Strahltaile einer in einer handelsüblichen Einmodenfasert geführten Lichtwelle.
  5. Modul nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fläche (21) durch anisotropes Ätzen eines plattenförmigen Siliziumsubstrates (2) geformt ist, das so auf der ersten Breitseite (11) montiert ist, daß die (100)-Orientierung des Siliziumsubstrates (2) Parallel zur ersten Breitseite (11) verläuft.
  6. Modul nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es zusätzlich zum Sendeelement (12) ein Empfangselement (5) aufweist.
  7. Modul nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fläche (21) reflektierend für die Sendestrahlung, aber durchlässig für Strahlung mindestens einer anderen als Empfangswellenlänge geeigneten Wellenlänge ist.
  8. Modul nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß parallel zur Fläche (21) eine Begrenzungsfläche (31) liegt, die zusammen mit der Fläche (21) einen Plattenabschnitt begrenzt, der aus einem Material besteht, das optisch durchlässig ist für eine von der Sendewellenlänge des Sendeelementes (12) abweichende Wellenlänge und das einen höheren Brechungsindex aufweist als die Vorräume der Fläche (21) und der Begrenzungsfläche (31).
  9. Modul nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Begrenzungsfläche (31) auch eine anisotrop in eine Siliziumplatte (2) geätzte Vertiefung (3) begrenzt.
  10. Modul nach Anspruch 6 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Siliziumplatte (2) auf einer ihrer Breitseiten (24) das Empfangselement (5) trägt.
  11. Modul nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Weglängen zwischen einerseits der Fläche (21) und andererseits dem Lichtaustrittspunkt (P<sub>0</sub>) an dem Sendeelement beziehungsweise dem Auftreffpunkt (P<sub>5</sub>) des Empfangslichtstrahls auf dem Empfangselement (5) einander angeglichen sind.
  12. Modul nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß Brechzahlen und Geometrie so gewählt sind, daß im Betrieb im Auftreffpunkt (P<sub>5</sub>) des Empfangslichtstrahls auf dem Empfangselement (5) die Strahltaile des transformierten Empfangsstrahls liegt, die durch die Linse (15) als Abbildung der Strahltaile in der Einkopplungsfläche entsteht.
  13. Modul nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Sendeelement Bestandteil eines Transceiverchips (512) mit integriertem Empfangselement ist und daß die Fläche (21) sowohl für die Sende- als auch für die Empfangswellenlänge reflektierend ist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

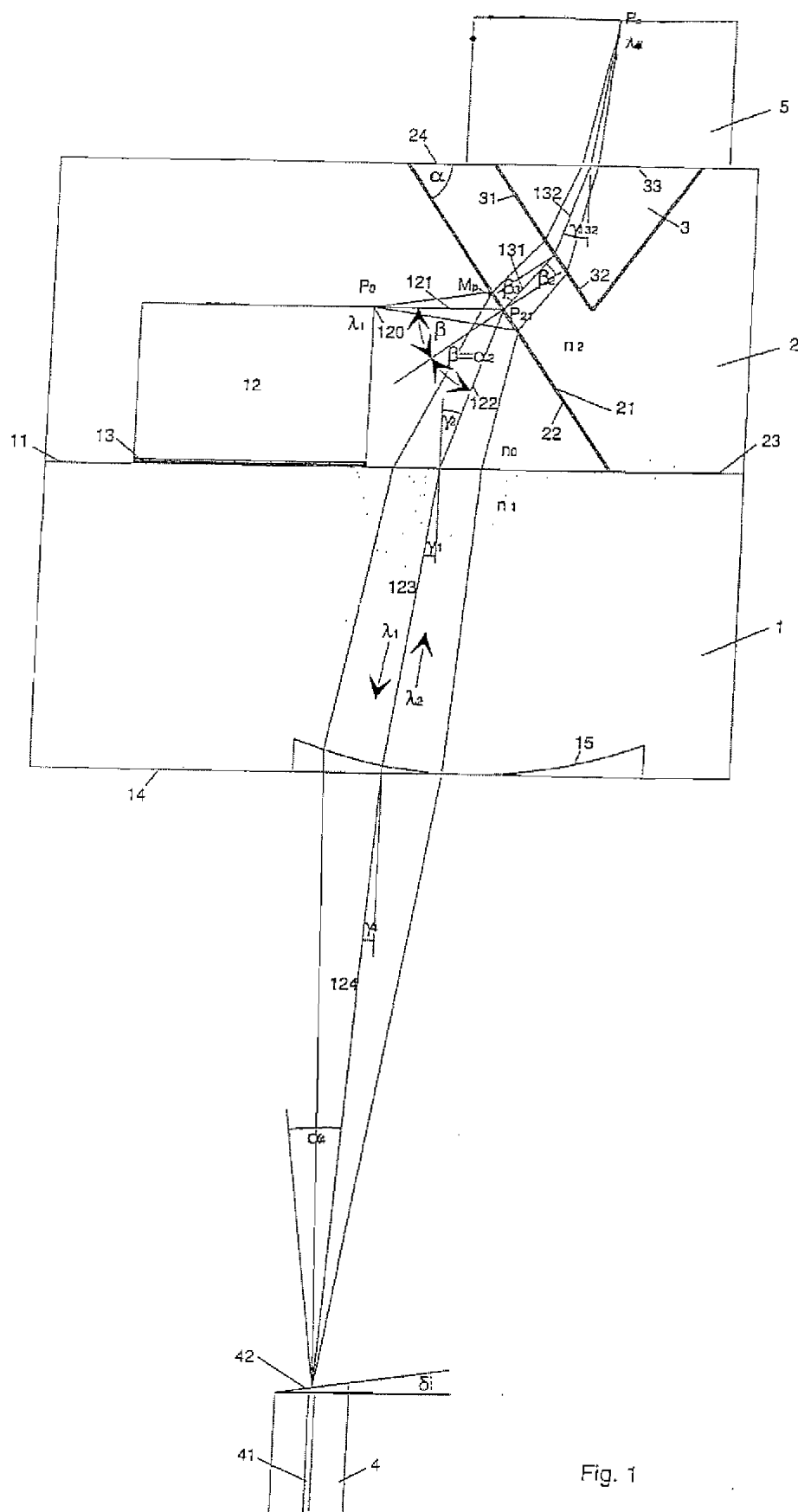


Fig. 1



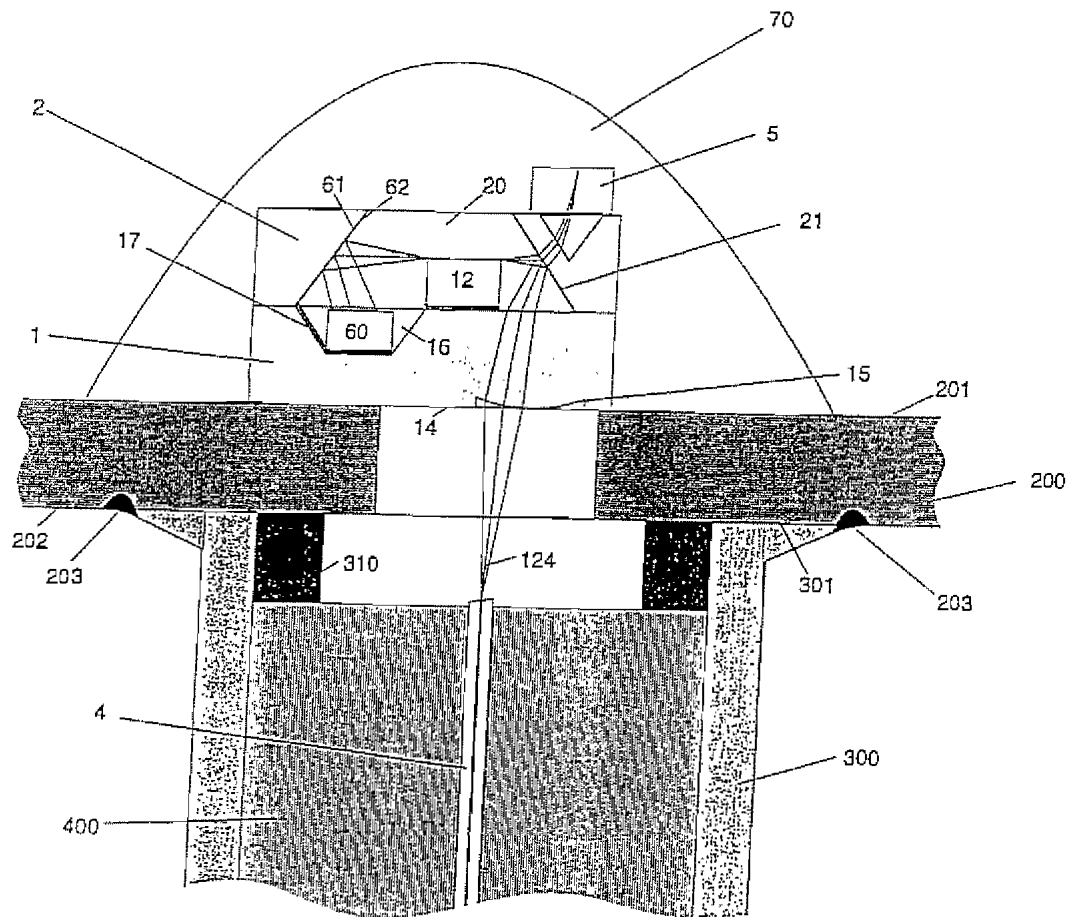


Fig. 2

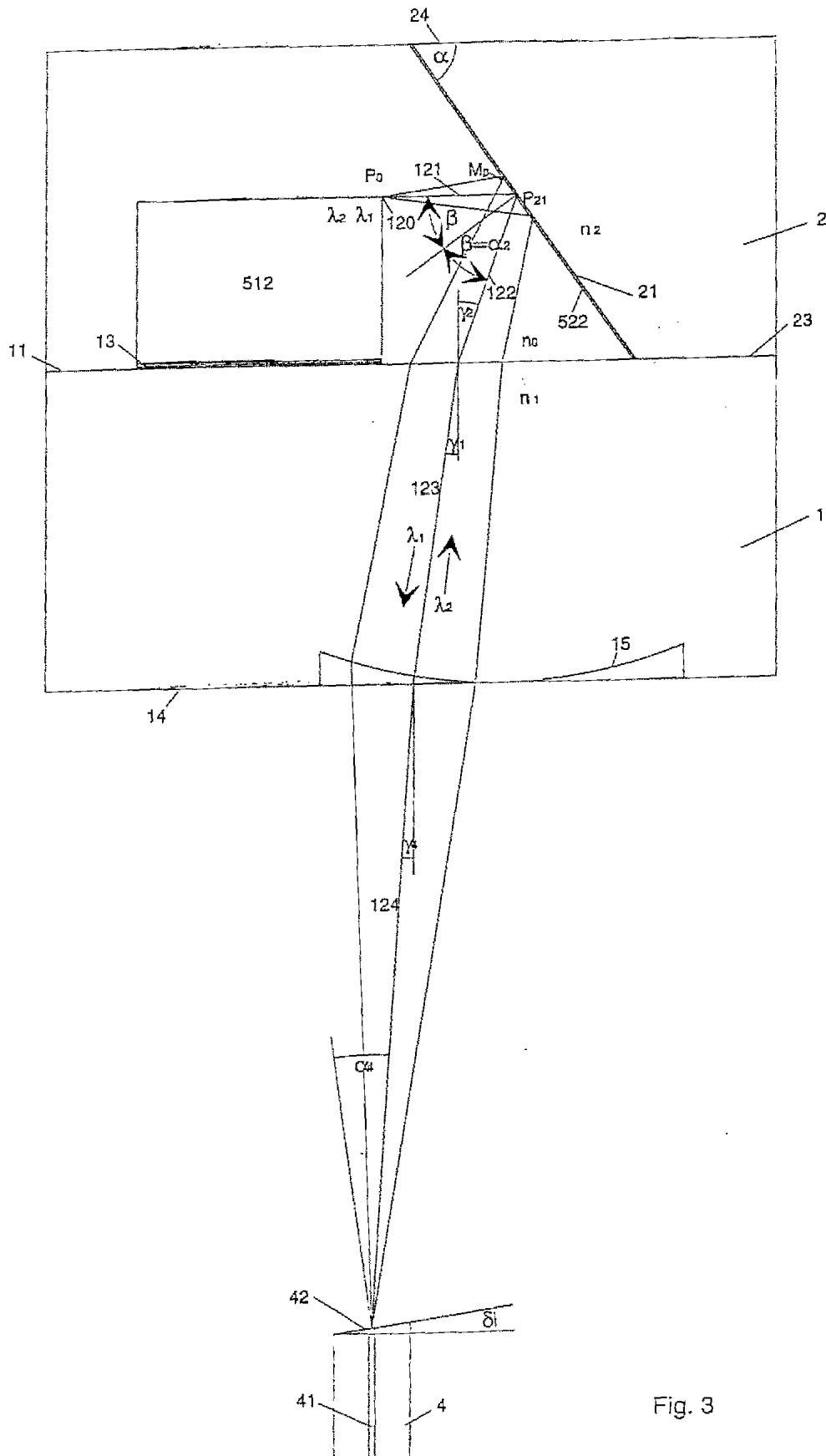


Fig. 3